

# La fachada ventilada y el confort climático: un instrumento tecnológico para edificaciones de clima cálido en Colombia

The ventilated facade and climatic comfort: a technological instrument for buildings in warm climates in Colombia

A fachada ventilada e o conforto térmico: um instrumento tecnológico para edificações de clima cálido na Colômbia

Recibido: 10 de julio de 2015. Aprobado: 21 de octubre de 2015. Modificado: 17 de noviembre de 2015  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18389/dearq18.2016.08>  
Artículo de reflexión

## Manuel Andrés Rubiano Martín

✉ [mar.arquitecto@gmail.com](mailto:mar.arquitecto@gmail.com)

Arquitecto, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Maestría en Tecnologías Estructurales para Arquitectura, Politécnico de Milán, Italia. Docente investigador, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia. Ha sido docente asociado de las áreas tecnológicas en las universidades Católica y América de Bogotá.

## Resumen

El sector inmobiliario tiene una gran responsabilidad en la contaminación por dióxido de carbono al planeta, y es la vivienda el principal factor de este hecho. De ahí que la fachada ventilada se haya usado ampliamente en países del norte y centro de Europa y en menor medida en Estados Unidos. Esta tecnología ha demostrado una alta eficiencia para crear un confort climático, al minimizar el uso de electrodomésticos como el HVAC y mitigar el impacto ambiental. De hecho, su aplicación en el contexto colombiano, sobre todo en las viviendas de clima cálido, representa una excelente posibilidad de mejorar la calidad de las residencias de manera eco-sostenible.

**Palabras clave:** contaminación por dióxido de carbono, ahorro energético, confort climático, fachada ventilada.

## Abstract

The real estate sector is responsible for polluting the planet with a large amount of carbon dioxide, and the construction of houses is the principal culprit. As such, the ventilated façade is widely used in northern and central European countries and to a lesser extent in the United States. This technology has shown a high degree of efficiency in maintaining climatic comfort as it minimizes the use of household electrical appliances such as air conditioning units, and it mitigates their environmental impacts. The application of the ventilated façade in Colombia, particularly in homes located in warm climates, is an excellent possibility to improve their quality in an environmentally responsible manner.

**Key words:** carbon dioxide pollution, energy saving, climatic comfort, ventilated façade.

## Resumo

O setor imobiliário tem uma grande responsabilidade na contaminação por dióxido de carbono ao planeta, e é a habitação o principal fator desse fato. De modo que a fachada ventilada tenha sido usada amplamente em países do norte e centro da Europa e em menor medida nos Estados Unidos. Essa tecnologia demonstrou uma alta eficiência para criar um conforto térmico, ao minimizar o uso de eletrodomésticos como o AVAC e mitigar o impacto ambiental. De fato, sua aplicação no contexto colombiano, sobretudo nas habitações de clima cálido, representa uma excelente possibilidade de melhorar a qualidade das residências de maneira ecossustentável.

**Palavras-chave:** contaminação por dióxido de carbono, economia energética, conforto térmico, fachada ventilada.

## Energía, emisiones de dióxido de carbono y edificaciones

Antes de entrar en el detalle de las fachadas ventiladas, es importante entender la estrecha —pero no siempre evidente— relación entre energía, emisiones de dióxido de carbono y sector inmobiliario. Es preciso señalar que las emisiones de dióxido de carbono y el uso de energía están inexorablemente ligadas. Tal es el caso de los combustibles fósiles utilizados para proveer la mayor cantidad de energía del planeta; estos son cada vez más costosos y sus productos derivados contribuyen al calentamiento global y el cambio climático (fig. 1).

Aunque es cierto que existen energías que no provienen directamente de combustibles fósiles, estas requieren un uso indirecto de energía contaminante para su generación. Un ejemplo común son las centrales nucleares; estas requieren energía proveniente del petróleo o el carbón para extraer y refinar el

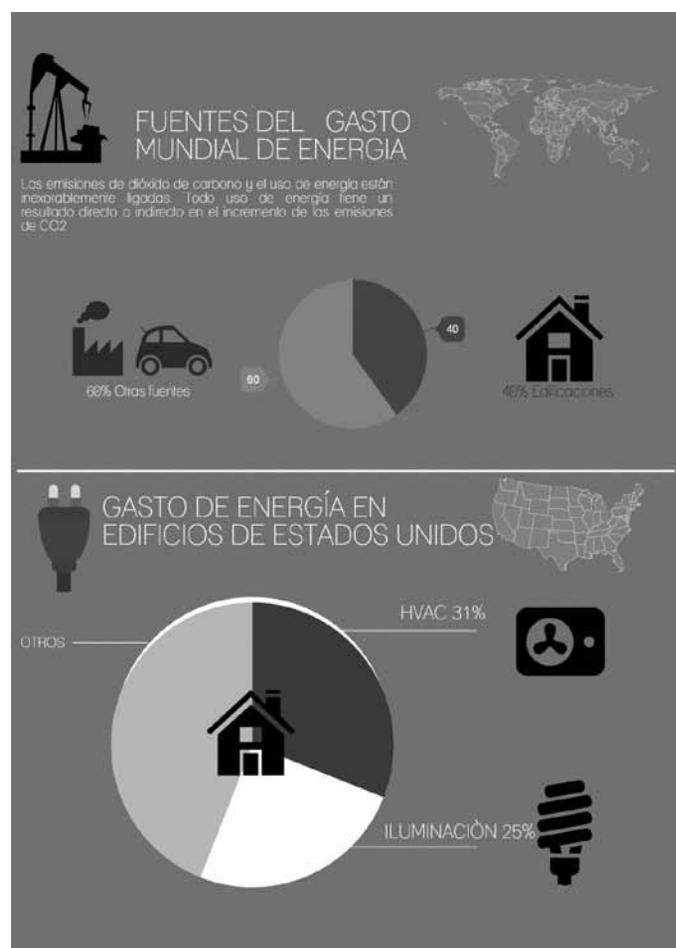


Figura 1. Energía y contaminación. Fuente: elaboración propia.

uranio.<sup>1</sup> En otras palabras: todo uso de energía tiene un resultado directo o indirecto en el incremento de las emisiones de dióxido de carbono.

Visto desde la perspectiva del sector inmobiliario, la energía usada por los edificios incide fuertemente en el total de la energía usada en los países industrializados. De hecho, el aporte de las construcciones al consumo energético global es de cerca del 40%. Por ejemplo, en Estados Unidos, los edificios en general son los responsables de la mitad de todo el consumo energético; mientras que la industria y el transporte consumen el 27% y el 29%.<sup>2</sup> Llama mucho la atención que la mayoría del consumo energético de estas construcciones está asociado a los diferentes sistemas utilizados dentro de estos y, particularmente a los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por su sigla en inglés). Para ser más exactos, estos sistemas consumen en promedio entre un 50%-60% de la energía total del edificio.<sup>3</sup> Con un dato adicional: el 31% corresponde a calefacción y ventilación, pues la iluminación tiene un 24% del total (fig. 1).<sup>4</sup>

Otra clara muestra de la relación entre contaminación por dióxido de carbono y edificaciones se encuentra en el Reino Unido. La energía usada en los hogares representa más de la cuarta parte del total. De hecho, se usa es más energía en el sector inmobiliario que en los sectores de transporte e industria, debido lo cual este sector representa en el Reino Unido la mayor oportunidad de reducir las emisiones de dióxido de carbono.<sup>5</sup>

Es igualmente importante analizar la relación entre el gasto energético y el sector inmobiliario de países con climas cálidos húmedos, similares al nuestro, como Singapur. Además de la similitud en clima, el país asiático tiene también un crecimiento económico constante que ha incidido directamente en el consumo eléctrico: la mayor parte de la electricidad consumida se debe al aire acondicionado y la refrigeración, sobre todo en los lugares de trabajo como oficinas o edificios institucionales, que funcionan por lo general en edificios de gran altura. Esta situación tiene un efecto agravante, ya que este tipo de construcciones están diseñadas para trabajar completamente con aire acondicionado, con el objetivo de proveer confort climático a las personas que los utilizan. Por lo tanto, este tipo de edificios son los que consumen el más alto porcentaje de energía dentro del sector de la construcción.<sup>6</sup>

- 1 Palmer y Cooper, *United Kingdom Housing*.
- 2 Azarbayjani, "Beyond Arrows".
- 3 Aksamija, "Building Commissioning: Strategies".
- 4 Azarbayjani, "Beyond Arrows".
- 5 Palmer y Cooper, *United Kingdom Housing*.
- 6 Wong, "Natural Ventilation".

## Colombia: consumo energético y sector inmobiliario

Infortunadamente al revisar el consumo energético de Colombia, la situación no cambia mucho; por ejemplo: en Bogotá el 57% del gasto energético proviene del sector residencial; el 24%, del comercio; el 9%, de la industria, y el 4%, del sector oficial. Caso similar se presenta en la cálida Barranquilla, donde también las viviendas consumen la mayor cantidad de energía: para ser más precisos el 41% del total (fig. 2).<sup>7</sup>



Figura 2. Gasto de energía Barranquilla, Colombia

Ahora bien, las cifras de Barranquilla son importantes por una razón: es una típica ciudad colombiana de clima cálido y ejemplifica bien el gasto energético de las ciudades por debajo de los 1000 m s. n. m. En proporción, estas ciudades son las que consumen más energía en todo el territorio nacional. Este fenómeno se explica de modo fácil, ya que en climas cálidos el uso de energía es mayor cuando se encuentra acentuada la utilización aires acondicionados. De hecho, en el estrato 6 de Barranquilla, el consumo eléctrico de estos aparatos es mayor que la sumatoria de todos los demás electrodomésticos.<sup>8</sup> Para empeorar la situación, los estratos 1 y 2, que antes no eran poseedores de este tipo de tecnología, han empezado a depender de ella debido a la introducción de equipos portátiles de bajo costo.<sup>9</sup>

Debido a lo mencionado, es posible afirmar que además de existir una urgente necesidad de generación de energías renovables, también es importante encontrar estrategias de eficiencia energética dentro de las edificaciones, esto con el ánimo de reducir su consumo energético y, por ende, minimizar el impacto ambiental sobre el planeta.<sup>10</sup> Un ejemplo de este tipo

de estrategias son las tecnologías constructivas que permiten un confort climático sin necesidad de equipos HVAC.

## Vivienda y confort térmico

Ya que la mayor parte de la energía es consumida por las edificaciones, y estas a su vez utilizan gran parte de esta energía para crear un confort climático que posibilite las actividades, es imprescindible hacer claridad sobre este concepto.

Aunque existen muchas definiciones que ayudan a entender y aclarar este concepto, para el presente artículo se ha tomado la que nos brinda la norma ISO 7730, de estándares británicos y europeos: "Es la condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico".<sup>11</sup> En esta condición ideal de confort no se está distraído por sensaciones como el frío o por el calor excesivo.<sup>12</sup>

Además de la definición, es clave mencionar que esta condición ideal no se puede traducir en una cifra mágica que funcione en todos los climas, menos para el contexto colombiano, donde las temperaturas van desde el calor seco de La Guajira, pasando por el calor húmedo y sofocante del Chocó, hasta el frío gélido de los Andes. De hecho, la temperatura de confort varía de un lugar a otro: en una ciudad como Barranquilla la temperatura de confort es diferente que la de Bogotá, y esta es diferente que la de Medellín. Sin embargo, para efectos prácticos, el cálculo aproximado de esta cifra se toma por lo general la fórmula ASHRAE 55201:

$$\text{Confort térmico} = 17,8 + (31 \% \text{To} \cdot \text{Av}^{13})$$

Así, una cifra aproximada de temperatura de confort para Bogotá sería de 21 °C; para Barranquilla, de 26,30 °C; para Medellín, de 24,75 °C, y para Cali, de 24,95 °C.

## Fachadas ventiladas

Para lograr las temperaturas mencionadas —sin ayuda de HVAC— es necesario el diseño y aplicación de tecnologías constructivas innovadoras. Una de estas es la denominada *fachada ventilada*. Está compuesta principalmente por dos pieles (una exterior y una interior) con una cavidad ventilada de aire localizada entre ellas. Los materiales de estas son en su mayoría el vidrio, el mármol y la cerámica. Como condición básica, la piel externa debe estar hecha de un material rígido

7 Unidad de Planeación Minero Energética, *Caracterización energética*.

8 Pulido, "Consumo residencial".

9 *Ibid.*

10 Wong, "Natural Ventilation".

11 ISO/TC, Technical Committee; 122, Technical Committee Cen/Tc; Standardization, European Committee For; 2005.

12 Brager y De Dear, "Climate, Comfort & Natural Ventilation".

13 To.Av es el resultado de tomar los promedios mensuales de las temperaturas y dividirlos por 12.

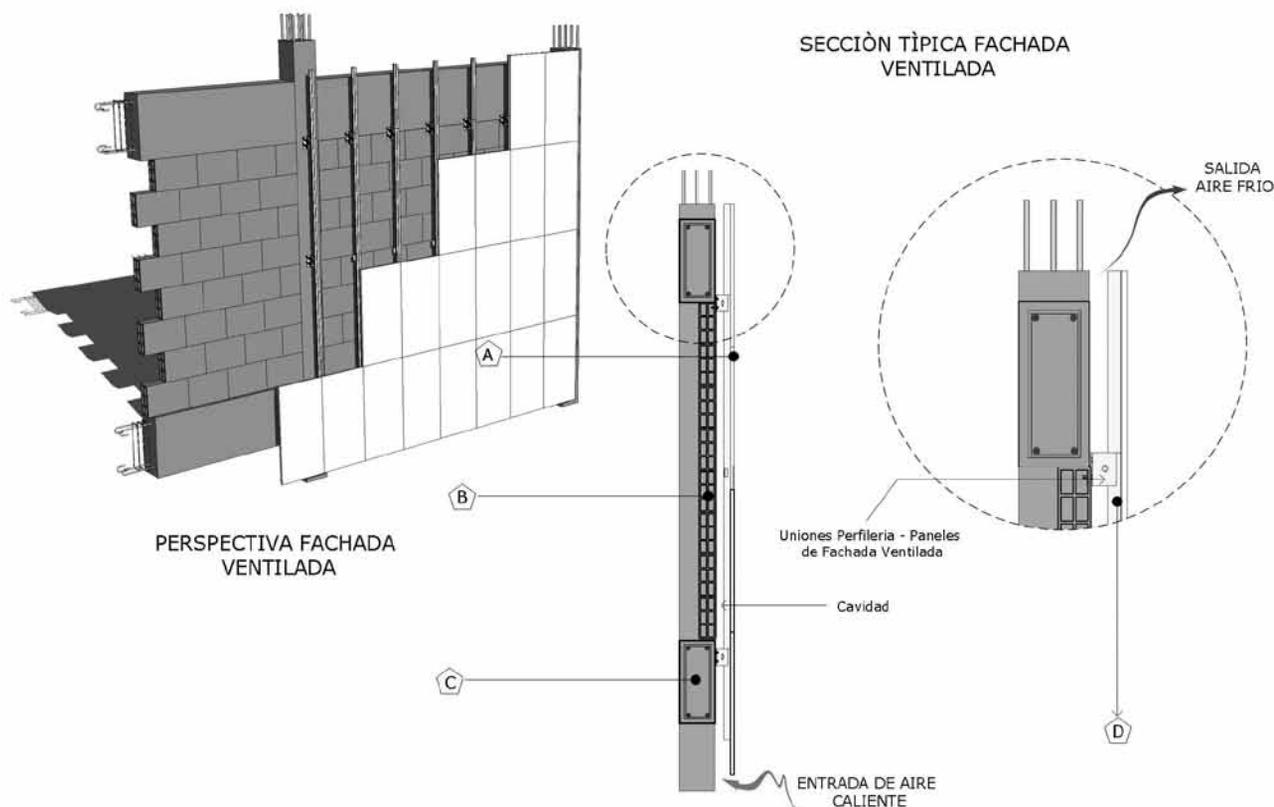


Figura 3. Sección típica y perspectiva fachada ventilada. A) Piel exterior. B) Piel interior. C) Estructura edificación. D) Subestructura-perfiles en aluminio. Fuente: elaboración propia.

que posea buenas condiciones térmicas de aislamiento. Los elementos del sistema están aferrados a una subestructura (generalmente hecha de perfiles de aluminio o acero) que a su vez está anclada a la estructura principal del edificio (fig. 3).<sup>14</sup>

Los objetivos primordiales de este tipo de fachada son: separar el interior del exterior, bloquear los efectos adversos del ambiente exterior y mantener el confort interno con un mínimo consumo energético.<sup>15</sup> Es posible extraer el aire caliente que queda en la cavidad por medio de aire inducido (mecánica o naturalmente), es decir, existe un efecto *stack*, cuya consecuencia es que el aire suba llevándose consigo el calor adicional.<sup>16</sup> Esto ayuda a eliminar la necesidad de equipos de ventilación mecánica interna (HVAC) o a reducir el consumo energético que estos demandan para la refrigeración del edificio.<sup>17</sup>

**El efecto stack y la cavidad de la fachada ventilada**

Como lo acabamos de mencionar, el efecto *stack* es el movimiento de aire hacia arriba, debido a la diferencia de tempera-

turas y de presiones. Frecuentemente, este sucede en muchos lugares de las edificaciones: huecos de ascensores y escaleras, ductos de basura, patios interiores, etc. En español, el nombre *efecto chimenea* se da por la comparación con el fenómeno que sucede dentro de una chimenea encendida (fig. 4).

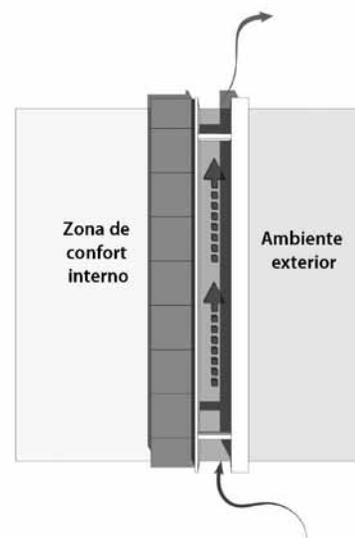


Figura 4. Efecto chimenea. Fuente: elaboración propia

14 Mora Pérez, López Patino y López Jiménez, "CFD Model of Air".  
 15 Aksamija, "Context Based Design".  
 16 Poirazis, "Double Skin Facdes".  
 17 Andersen, "Theory for Natural Ventilation".

En la fachada ventilada, este efecto ocurre específicamente en la cavidad o espacio que está entre las dos pieles del sistema; de hecho, el ancho de la cavidad es un factor clave para el buen desempeño térmico de la fachada.<sup>18</sup> Ahora bien, es posible extraer el aire naturalmente de dos formas: con ayuda de viento exterior o por el simple efecto chimenea. La presión de un viento existente ayuda a sacar el aire de la cavidad de manera más eficiente; pero si no existe un viento que ayude, la fachada puede seguir estando ventilada, debido simplemente al efecto *stack*.<sup>19</sup>

En contextos urbanos, la extracción por medios naturales puede tener algunos problemas de transmisión de ruido y contaminación, por lo que es aconsejable solo en contextos suburbanos o rurales y, en consecuencia, el uso de extracción mecánica es preferible en ciudades. Este tipo de extracción utiliza sistemas de ventilación en la parte superior o en la base de la fachada con el objetivo de introducir aire o extraerlo, especialmente en edificios de gran altura.<sup>20</sup> No obstante, sea favorable el uso o no de sistemas mecánicos en sectores urbanos, la energía utilizada por estos es mucho menor a la utilizada por un equipo HVAC (fig. 5).

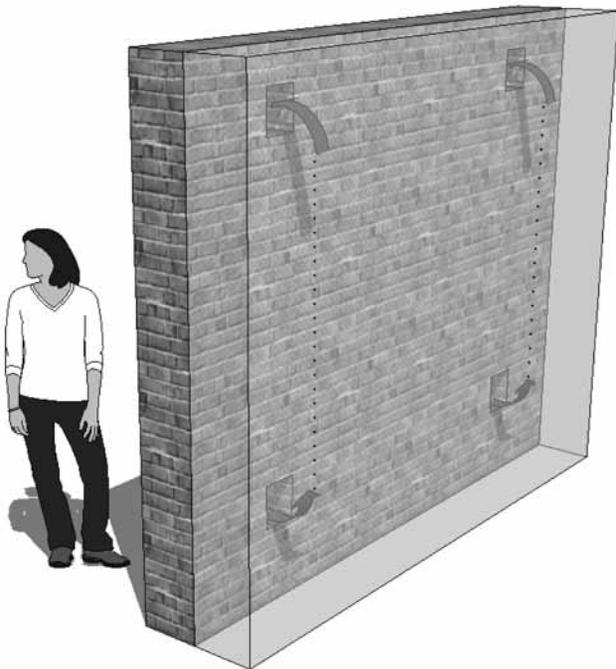


Figura 5. Efecto stack en fachada ventilada de ladrillos. Fuente: elaboración propia

## Evolución de las fachadas ventiladas

Las fachadas ventiladas no son una idea nueva. De hecho, la aplicación más común es el muro *trombe*, que originalmente fue patentado en 1881 por Edward Morse, aunque no se popularizó hasta que Felix Trombe patentó un sistema similar en 1972.<sup>21</sup>

A mediados de las décadas de los cuarenta y de los sesenta del siglo pasado, las facultades de arquitectura en Canadá y Estados Unidos tenían en sus planes de estudio cursos libres de diseño arquitectónico y clima. Estos hacían hincapié en los principios fundamentales de diseño bioclimático; sin embargo, solo para ser aplicados en edificaciones de baja y mediana altura.<sup>22</sup>

Entrada la década de los sesenta, los bajos precios del petróleo permitían a los diseñadores arquitectónicos ignorar con relativa facilidad el lugar donde se diseñaba y generaron una arquitectura con altísimos consumos energéticos.<sup>23</sup> Un ejemplo de esto es el edificio Larkin, construido en 1906 en el estado de Nueva York, por Frank Lloyd Wright. Se piensa que este edificio fue el primero en usar un sistema de aire acondicionado en el mundo, donde el aire frío era bombeado por medio de ductos especiales a través de sus diferentes espacios. La popularidad del llamado *estilo internacional*, que subsiguio la construcción de esta edificación, permitió en parte el surgimiento de edificaciones con formas geométricas puras que acentuaban el uso del vidrio en sus fachadas y sistemas de muros cortantes como eje fundamental de su estructura. Esto, lamentablemente, favoreció una ruptura entre el clima que rodea al edificio y su ambiente interno.<sup>24</sup>

Un punto de quiebre en materia de conciencia energética se presenta en la década de los sesenta, cuando a raíz de la crisis del petróleo se despierta la preocupación por alcanzar un mejoramiento sustancial de la eficiencia energética en todos los sectores de la industria. En este periodo del siglo pasado, las fachadas de los edificios empezaron a ser cada vez más importantes.

Desde los años noventa, las áreas del conocimiento científico y la investigación tecnológica empezaron a centrarse en este aspecto.<sup>25</sup> De hecho, en este periodo dos factores empezaron a influenciar fuertemente la proliferación de las fachadas de doble piel: las crecientes preocupaciones ambientales que influenciaba los diseños arquitectónicos desde el punto de vista

18 Sobre este aspecto, se han hecho estudios que identifican una distancia de 200 milímetros como el espesor mínimo de la cavidad. Poirazis, "Double Skin Facades". Véase también Uuttu, "Study of Current Structures".

19 Poirazis, "Double Skin Facades"

20 Haase y Amato, "Controlling Ventilated Facades".

21 Richman, Cianfrone y Pressnail, "More Sustainable Masonry".

22 Wong, "Natural Ventilation".

23 *Ibid.*

24 Richman, Cianfrone y Pressnail, "More Sustainable Masonry".

25 Wong, "Natural Ventilation".

técnico y las presiones político-económicas sobre diseñadores para que proyectaran “edificios verdes” que permitieran una buena imagen para la arquitectura corporativa.<sup>26</sup> De hecho, en algunos países este tipo de “imagen verde” persiste más como una moda pasajera que como una auténtica preocupación ambiental y energética.

En años recientes ha existido un gran interés por el desarrollo tecnológico de este tipo de fachadas, sobre todo en Alemania y los países del norte de Europa.<sup>27</sup> Este nuevo interés surge como respuesta a la legítima preocupación por los grandes costes energéticos de los edificios de altura,<sup>28</sup> ya que en este tipo de edificios la ventilación dentro de la cavidad de las fachadas ventiladas no puede ser realizada de forma natural en los niveles más altos, debido a las altas velocidades del viento en los pisos superiores.<sup>29</sup>

### Diseño de fachadas ventiladas

El nuevo interés en esta tecnología se ha traducido en una aproximación responsable e inteligente al diseño de fachadas por parte de ingenieros y arquitectos.<sup>30</sup> No obstante esto,

muchos diseñadores podemos caer en la tendencia de dejar simplemente a la intuición los diseños de fachadas ventiladas. Sin un análisis detallado de esta tecnología, el correcto funcionamiento, en el corto y largo plazo, no está asegurado. De hecho, hay un gran vacío y falta de información en la literatura especializada que hagan evidente el difícil, y muchas veces complejo, camino al diseñar estas fachadas (fig. 6).<sup>31</sup>

Así, en edificios de poca altura, un simple proceso de bocetos con unas determinantes climáticas mínimas puede funcionar. Estas determinantes, que cualquier diseñador debe tener en cuenta para ventilar naturalmente el edificio son: forma del edificio, distribución de los espacios internos, localización y área de las aberturas.<sup>32</sup> Esto debe ser tomado mucho más en cuenta en sectores tropicales como el nuestro, donde un correcto estudio de la ventilación natural en el edificio y específicamente en las fachadas son la clave.<sup>33</sup>

En contraste, en edificaciones de gran altura es necesario que se aplique las simulaciones *fluidodinámicas* o CFD, por su sigla en inglés. Gracias a la resolución de ecuaciones complejas de masa, momentos y energía, los programas CFD ayudan a los

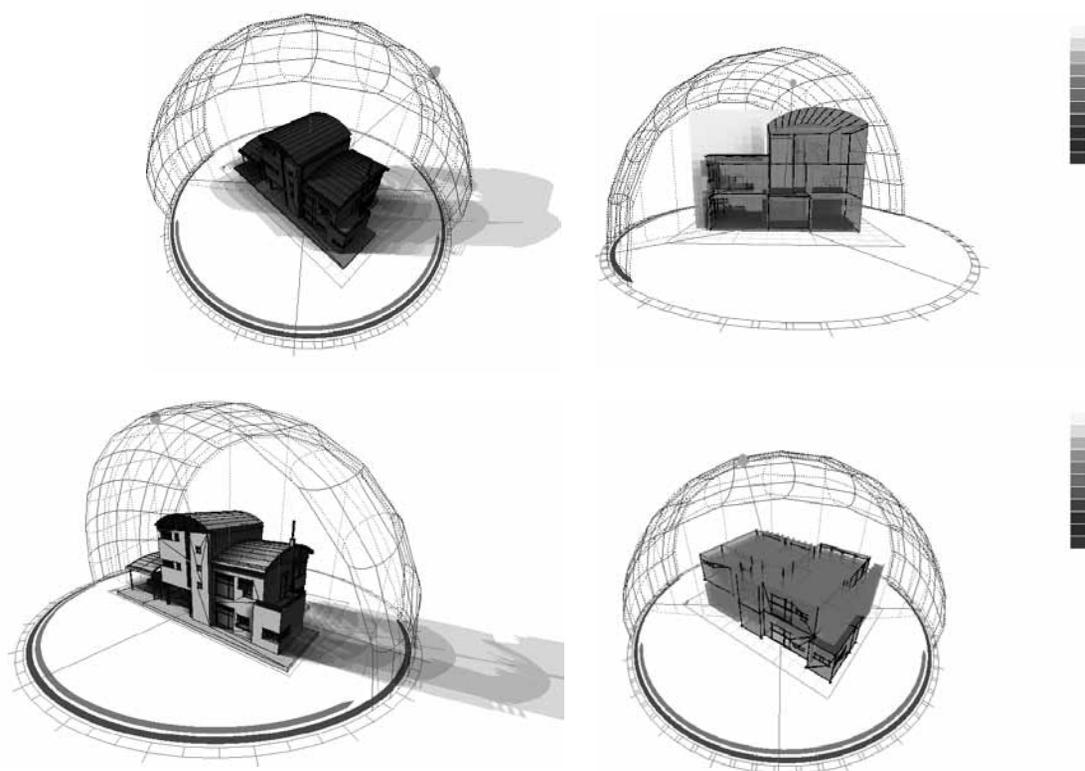


Figura 6. Análisis, asolación y temperaturas internas vivienda de 3 pisos. Fuente: elaboración propia

26 Poirazis, “Double Skin Facades”.

27 Roelofsen, *Ventilated Facades*.

28 Edificios con más de 10 pisos.

29 Azarbayjani, “Beyond Arrows”.

30 Haase, Wong y Amato, “Double -Skin Facades”.

31 Azarbayjani, “Beyond Arrows”.

32 Wong, “Natural Ventilation”.

33 *Ibid.*

diseñadores a predecir de manera detallada las corrientes de aire en estos casos especiales, pues ayuda a planear el edificio para que tenga una ventilación óptima y, en consecuencia, confort climático.<sup>34</sup>

El estudio e implementación de este tipo de fachadas en edificios debe estar realizado por un equipo conformado, en lo posible, por arquitectos e ingenieros, a fin de que se llegue al resultado esperado, es decir: predecir con detalle los flujos de aire en cualquier tipo de construcciones, lo cual permitirá realizar cambios en el diseño si existieren inconsistencias en los flujos de aire o en temperaturas fuera del rango de confort.

### Fachadas ventiladas en el contexto colombiano

A diferencia las regiones templadas, donde históricamente se han desarrollado las fachadas ventiladas, Colombia está ubicada en la zona de interconvergencia tropical, no tiene estaciones y las temperaturas se determinan por los cinco pisos térmicos según la altura sobre el nivel del mar. Además, el 80% del territorio es cálido con temperaturas promedio superiores a los 24 °C; más específicamente, el 60,54% corresponde al clima cálido húmedo.<sup>35</sup> Es en este tipo de clima donde se consume la mayor cantidad de energía por parte de las viviendas en nuestra nación y, por lo tanto, representa la mayor oportunidad para la aplicación de la tecnología de fachadas ventiladas.

De hecho, el comportamiento térmico específico de las envolventes ventiladas podría tener una importante contribución al confort térmico colombiano. La mayoría de las envolventes tradicionales en nuestro país utilizan materiales tradicionales como la cerámica, la guadua o la madera. Si bien el uso de estos materiales genera curvas térmicas diferentes, la cavidad de una fachada ventilada compensaría las eventuales ganancias térmicas, al mantener las temperaturas internas en un relativo confort.<sup>36</sup> Es decir que su implementación permitiría obtener valores de temperaturas internas significativamente inferiores a las que generan las envolventes convencionales.

Además del importante factor térmico, es imprescindible una permeabilidad de la fachada entre el interior y el exterior, por medio de los flujos del aire. Estos flujos favorecen la dispersión del calor proporcionalmente a su contenido de humedad relativa: las ventajas en la utilización de ventilación natural se aprecian sobre todo en la noche y en la madrugada, pues

también son útiles para evacuar el aire sobrecalentado en las tardes.<sup>37</sup> Específicamente —en el ciclo diario de nuestro clima cálido húmedo— estos flujos deben ser minimizados cuando las temperaturas externas superan a las internas, factor que se manifiesta con especial intensidad por las tardes, cuando las temperaturas son máximas. En las horas de la noche y en la madrugada se genera el fenómeno contrario; por lo tanto, se debe maximizar el intercambio con la doble intención de refrescar espacios y personas, a efectos de disipar, además, el calor acumulado por las superficies internas. En las horas de la mañana, la disipación nocturna de calor permitiría retardar el recalentamiento de los espacios confinados incrementando el confort.<sup>38</sup>

Respecto al uso de materiales, la envolvente primaria —que tiene un contacto directo con el medio ambiente— podría construirse con materiales convencionales tanto por su aceptación como por la familiaridad por parte de la mano de obra; por ejemplo, bloques de termoarcilla con aislamiento externo continuo y pañete interno.<sup>39</sup> Esto permitiría una adopción más fácil de la tecnología en el sector constructivo local.

### Conclusiones

En el último siglo, la evolución de las fachadas ventiladas ha experimentado un crecimiento exponencial, gracias a la urgente necesidad de eficiencia energética en las construcciones. Debido a esto, la integración de los sistemas de fachadas ventiladas a los demás sistemas del edificio ha demostrado ser una buena oportunidad para bajar los costos de energía de las edificaciones y reducir así las emisiones de dióxido de carbono.

Existe un amplio campo de acción para este tipo de tecnología en el contexto colombiano, debido a su efectividad para crear confort climático en climas extremos, como los nuestros, principalmente el cálido húmedo, que está presente en más de la mitad del territorio.

Al ser una tecnología relativamente simple, ya que requiere el uso de materiales fáciles de encontrar en nuestro contexto, posibilita su integración a la cultura constructiva colombiana, siempre y cuando tenga una correcta aplicación por medio de un estudio previo de las condiciones del sitio donde va a ser implantada, es decir, estudios de asolación, vientos, temperaturas y humedad. En cuanto a las fuertes humedades propias

34 Azarbayjani, "Beyond Arrows".

35 IDEAM. *Atlas climatológico*.

36 Varini, "Envolventes arquitectónicas".

37 *Ibid.*

38 *Ibid.*

39 *Ibid.*

de nuestros climas, que llegan incluso al 100% la mayoría de días del año en departamentos como en Chocó, debe también permitirse la ventilación cruzada, sobre todo en horas de la noche.

Su adopción podría traer beneficios a los usuarios de las viviendas de climas cálidos, en términos de confort climático y, además, en términos económicos, ya que el dinero ahorrado en la compra de equipos de aire acondicionado, y los pagos mensuales de electricidad por su utilización, podría utilizarse para necesidades básicas de las familias de estos hogares, muchos de los cuales pertenecen a la base de la pirámide social.

Como conclusión, la implementación de fachadas ventiladas que permita un adecuado flujo de aire en la vivienda mejoraría de manera sustancial el confort de las residencias en Colombia, sobre todo en aquellas ubicadas en los climas cálidos húmedos que representan el mayor potencial de ahorro energético por medio de tecnologías pasivas en la construcción. 

## Bibliografía

- Aksamija, Ajla. "Building Commissioning: Strategies, Criteria and Applications". *Perkins+Will Research Journal* 1, n.º (2009): 7-13. [http://works.bepress.com/ajla\\_aksamija/23/](http://works.bepress.com/ajla_aksamija/23/)
- Aksamija, Ajla. "Context Based Design of Double Skin Facades". *Perkins+Will Research Journal* 1, n.º 1 (2009): 54-69.
- Andersen, Karl Terpager. "Theory for Natural Ventilation by Buoyancy in One Zone with Uniform Temperature". *Building and Environment* 38, n.º 11 (2003): 1281-1289. doi:10.1016/S0360-1323(03)00132-X
- Azarbayjani, Mona. "Beyond Arrows: Energy Performance of a New, Naturally Ventilated Double-Skin Facade Configuration for a High-Rise Office Building in Chicago". Doctoral thesis dissertation, University of Illinois, Estados Unidos, 2010.
- Brager, Gail S. y Richard De Dear. "Climate, Comfort & Natural Ventilation: A New Adapative Comfort Standard for ASHRAE Standard 55". Universidad de Berkeley, Estados Unidos, 2001. <http://www.escholarship.org/uc/item/2048t8nn>
- California Energy Commission y Center for Built Environment. "High Performance Facades: Design and Applications in North America and Northern Europe". Berkeley, California, 2011.
- Haase, Mathias y Alex Amato. "Controlling Ventilated Façades". <http://web.byv.kth.se/bphys/copenhagen/pdf/024-1.pdf>
- Haase, Matthias, Felix Wong y Alex Amato. "Double-Skin Façades for Hong Kong". *Surveying and Built Environment* (diciembre 2007): 17-30.
- IDEAM. *Atlas climatológico de Colombia*. Bogotá, 2005.
- ISO/TC, Technical Committee; 122, Technical Committee Cen/Tc; Standardization, European Committee For; 2005.
- Mora Pérez, Miguel, Gonzalo López Patiño y Amparo López Jiménez. "CFD Model of Air Movement in Ventilated Facade: Comparison between Natural and Forced Air Flow". *International Journal of Energy and Environment* (2013): 357-368.
- Palmer, Jason e Ian Cooper. *United Kingdom Housing Energy File*. Cambridge: Department of Energy & Climate Change, 2013. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/345141/uk\\_housing\\_fact\\_file\\_2013.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/345141/uk_housing_fact_file_2013.pdf)
- Poirazis, Harris. "Double Skin Facades for office Buildings". Revisión de literatura especializada, Departamento de arquitectura y construcción, Universidad de Lund, 2004.
- Pulido, Luz Dary. "Consumo residencial de energía en Colombia". *Urbana* (2011): 34-35.
- Richman, R. C., C. Cianfrone y K. D. Pressnail. "More Sustainable Masonry Façades: Preheating Ventilation Air Using a Dynamic Buffer Zone". *Journal of Building Physics* (2009). doi:10.1177/1744259109355729
- Roelofsen, Paul. *Ventilated Facades*. Eindhoven: Technische Universiteit, 2002.
- Unidad de Planeación Minero Energética. *Caracterización energética del sector residencial urbano y rural en Colombia*. Bogotá: Consultores Unidos, 2012.
- Uttu, Sini. "Study of Current Structures in Double-Skin Facades". Glassfiles.com, 2005. <http://www.glassfiles.com/articles/study-current-structures-double-skin-facades>
- Varini, Claudio. "Envolventes arquitectónicas sensibles al clima". *PRE-TIL* n.º 26 (junio 2012): 33-45.
- Wong, Chew. "Natural Ventilation in Double-Skin Façade Design for Office Buildings in Hot and Humid Climate". Doctoral thesis dissertation, New South Wales, 2008.